

Σ

ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟΣ ΣΥΛΛΟΓΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΥΧΩΝ
ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ - ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Σεμινάριο έργων Εγγείων Βελτιώσεων

ΑΘΗΝΑ, ΝΟΕΜΒΡΗΣ 1986

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ ΣΕ ΥΔΑΤΙΚΟΥΣ ΠΟΡΟΥΣ ΚΑΙ ΕΡΓΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥΣ

Δ. ΠΑΝΑΓΟΥΛΙΑ

Τομέας Υδατικών Πόρων - Υδραυλικών και θαλάσσιων Έργων Ε.Μ.Π.

Επίδραση Κλιματικών Αλλαγών σε Υδατικούς Πόρους και Έργα Αξιοποίησής τους

Δ. ΠΑΝΑΓΟΥΛΙΑ

Περίληψη

Η επερχόμενη κλιματική αλλαγή αναμένεται να επηρεάσει τους υδατικούς πόρους και τα έργα αξιοποίησής τους. Με τρεις διαφορετικές τεχνικές μπορούν να εκτιμηθούν οι επιπτώσεις των αλλαγών των κλιματικών παραμέτρων πάνω στο υδρολογικό καθεστώς και δυναμικό των υδατικών πόρων. Καμιά όμως δεν έχει αποδειχθεί επικρατέστερη της άλλης. Η υιοθέτηση μιας συγκριτικής τεχνικής και ενός επιχειρησιακού σχήματος ελέγχου των υδρολογικών μοντέλων προσομοίωσης, που είναι αναγκασμένα να "δουλέψουν" κάτω από διαφορετικές κλιματικές συνθήκες, φαίνεται να αποτελεί την προσφορότερη πρακτική για το σκοπό αυτό.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Κλιματική Αλλαγή

Ενώ η κλιματική αλλαγή είναι ιδιότητα της ατμόσφαιρας της Γης και υπάρχει από τη γένεσή της, για πρώτη φορά ο άνθρωπος απέκτησε τόση δύναμη που να μπορεί να επέμβει στο περιβάλλον του, ν' αλλάξει το κλίμα παγκόσμια ή τουλάχιστο να δώσει την ώθηση σε αλλαγές που ίσως συνέβαιναν αργότερα χωρίς την επέμβασή του.

Η συνεχής καύση γαιανθράκων, η καταστροφή δασών, οι αλλαγές στη χρήση γης μεταβάλλοντας αυτή σε οικιστικές και βιομηχανικές περιοχές, η ευρεία χρήση νιτρικών λιπασμάτων, οι μεγάλες θερμοπυρηνικές εκρήξεις και κύρια η ρύπανση, μεταβάλλοντας τις συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα, όζοντος, μεθανίου, χλωροφθορομεθανίου και άλλων ιχνοαερίων (trace gases), μπορούν να διαταράξουν τη θερμική ισορροπία της ατμόσφαιρας και να αλλάξουν το κλιματικό σύστημα της γης.

Από τα ανθρωπογενή συστατικά της ατμόσφαιρας, το CO₂ έχει αυξηθεί περισσότερο. Αναμένεται να φθάσει τα 640 ppmV μέχρι το έτος 2035 και να προκαλέσει, μέσα από το μηχανισμό του θερμοκηπίου, ανύψωση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας κατά 3^ο με 4^οC.

Η αύξηση της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας, τόσο από την αύξηση του CO₂ όσο και απ' άλλες θερμικές πηγές μικρότερης σπουδαιότητας, μπορεί να προκαλέσει αλλαγές στο μέγεθος και στην εποχιακή μεταβλητότητα της θερμοκρασίας, βροχόπτωσης, εξατμισοδιαπνοής, εδαφικής υγρασίας, μάζας χιονιού και απορροής, και να δημιουργήσει νέα κλιματικά σενάρια.

1.2 Το Πρόβλημα

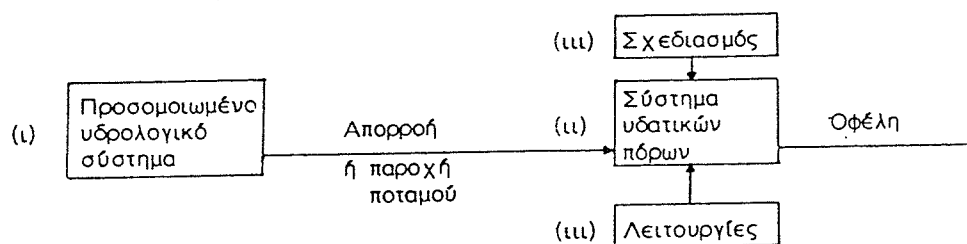
Με δεδομένη την αναμενόμενη μεταβολή κλίματος εγείρονται κρίσιμα ερωτήματα:

- Ποιά θα είναι η κατάσταση των υδατικών πόρων που ήδη υπάρχουν;
- Πόσο θα επηρεαστεί η αποδοτικότητά τους;
- Ποιό θα είναι το μέγεθος και η κατανομή της μεταβολής τους στο χώρο και στο χρόνο;
- Υπάρχει πιθανότητα να δημιουργηθούν καινούργιοι υδατικοί πόροι με βασικό αίτιο τις κλιματικές αλλαγές;
- Ποιός θα είναι ο ρόλος των υδραυλικών έργων που ήδη υπάρχουν, πόσο καλά θα μπορέσουν να "δουλέψουν" κάτω από τα καινούργια υδρολογικά σενάρια;
- Πώς πρέπει να σχεδιαστούν τώρα οι διάφορες τεχνικές συνιστώσες των έργων έτσι ώστε να βελτιστοποιηθεί η λειτουργία τους στο μέλλον;
- Τέλος, κρίνεται πραγματικά αναγκαίος ο έγκαιρος σχεδιασμός των απαραίτητων υδραυλικών έργων, έτσι ώστε αυτά να μειώσουν από τη μια μεριά την καταστροφική επίδραση των κλιματικών αλλαγών και από την άλλη να επωφεληθούν τα ευνοϊκά αποτελέσματά τους;

Ο υπολογισμός της επίδρασης των αλλαγών των κλιματικών σεναρίων πάνω στους υδατικούς πόρους και στα έργα αξιοποίησής τους εμπλέκει τρία στάδια μελέτης:

- (i) προσομοίωση του υδρολογικού καθεστώτος κάτω από τις υπαγορεύσεις των αλλαγών των κλιματικών μεταβλητών (ατμ. θερμοκρασία, κατακρήμνιση κ.λπ),
- (ii) αλλαγές στους υδατικούς πόρους κάτω από τις υπαγορεύσεις των μελλοντικών κλιματικών σεναρίων,
- (iii) εκτίμηση των επιπτώσεων στα χαρακτηριστικά λειτουργίας και στις παραμέτρους σχεδιασμού των συστημάτων υδατικών πόρων για το προσομοιωμένο υδρολογικό καθεστώς του σταδίου (i).

Οι σχέσεις αλληλεπίδρασης προσομοιωμένου υδρολογικού καθεστώτος, υδατικών πόρων και σχεδιασμού έργων αξιοποίησής τους, όπως περιγράφονται από τα στάδια (i), (ii) και (iii), παρουσιάζονται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1. Σχέσεις αλληλεπίδρασης υδρολογικού συστήματος, υδατικών πόρων και έργων αξιοποίησής τους

2. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

2.1 Κατάταξη

Οι τεχνικές, που έχουν χρησιμοποιηθεί για να εκτιμήσουν την επίδραση των κλιματικών αλλαγών πάνω στο υδρολογικό σύστημα και το δυναμικό των υδατικών πόρων, κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με το αν τα αποτελέσματα που πετυχαίνονται από κάθε μια απ' αυτές βασίζονται:

- (i) σε θεωρητικές-υποθετικές σχέσεις κλίματος και υδρολογικού συστήματος,
- (ii) σε παρατηρούμενα στοιχεία ανταπόκρισης του υδρολογικού συστήματος στις τρέχουσες κλιματικές διακυμάνσεις και ανωμαλίες,
- (iii) στην προσομοίωση του συστήματος λειτουργιών της λεκάνης απορροής-ποταμού.

(α) Θεωρητική-Υποθετική Τεχνική (Speculative Technique)

Αναπτύσσει λειτουργικές υποθέσεις σχετικά με τα αποτελέσματα που μπορεί να έχουν οι αλλαγές των κλιματικών παραμέτρων πάνω στο υδρολογικό σύστημα και τους υδατικούς πόρους.

Στην τεχνική αυτή ανήκουν οι μελέτες:

- Speculative Impact Matrix of Climate Changes, Schwarz, 1978
- Sensitivity of Hydrologic System and Water Resources to Climate Change/Variation, Callaway, Cohen και Currie, 1984

(β) Εμπειρική Τεχνική (Empirical Technique)

Χρησιμοποιεί παρατηρούμενες ανταποκρίσεις του υδρολογικού συστήματος σ' ακραίες κλιματικές διακυμάνσεις και ανωμαλίες και μελετά την υδρολογική επίδραση ανάλογων κλιματικών αλλαγών με ντετερμινιστική ή και στατιστική επέκταση των ιστορικών καταγραφών.

Αυτή περιλαμβάνει:

- Μεθόδους υδατικού ισοζυγίου, όπως του Budyko, 1979
- Δείκτες, εδαφικής υγρασίας του Thornthwaite, και ξηρασίας του Palmer
- Στατιστικές μεθόδους πολλαπλής παλινδρόμησης, όπως των Beard και Maristany 1979, και Callaway, Cohen και Currie 1984.

(γ) Τεχνική Προσομοίωσης του Συστήματος Λεκάνης Απορροής-Ποταμού (Systems Based Watershed Technique)

Χρησιμοποιεί μοντέλα που προσομοιώνουν τη λειτουργία της λεκάνης απορροής για να προγνώσει την επίδραση που ενδεχομένως θα εξασκήσουν οι αλλαγές των κλιματικών παραμέτρων πάνω στο υδρολογικό σύστημα.

Σ' αυτήν ανήκουν μόνο δύο μελέτες:

- η μια με στοχαστική διαδικασία, Schwarz, 1977
- και η άλλη με ντετερμινιστική, Nemec και Schaake, 1983.

2.2 Ανάλυση Υδρολογικής Επίδρασης Κλιματικών Αλλαγών

Και οι τρεις τεχνικές που παρουσιάστηκαν προηγούμενα (2.1 α, β και γ) έχουν χρησιμοποιηθεί για να εκτιμήσουν την υδρολογική επίδραση των κλιματικών αλλαγών.

Η πρώτη έδωσε ποιοτικά αποτελέσματα που δείχνουν την ευαισθησία αλλά και τη δυσκολία εκτίμησης των υδρολογικών διαδικασιών σε κλιματικές αλλαγές.

Η δεύτερη έδωσε ποσοτικά αποτελέσματα τα οποία όμως δεν μπορούν να γενικευθούν αν η τεχνική αυτή δεν εφαρμοστεί σε πολλές μεμονωμένες λεκάνες με έντονη κλιματική και υδρολογική μεταβλητότητα.

Τέλος, στην τρίτη τεχνική, η ντετερμινιστική προσομοίωση της απορροής από το μοντέλο του Sacramento για τις λεκάνες Leaf River του Mississippi και Pease River του Τέξας έδωσε τιμές που δείχνουν την ευαισθητοποίηση και των δύο λεκανών σε αλλαγές κατακρήμνισης και θερμοκρασίας και ιδιαίτερα δε στην πρώτη. Όσον αφορά τη στατιστική σημαντικότητα των αλλαγών απορροής, αυτές, στην καλύτερη περίπτωση, βρέθηκαν πάνω στο όριο του 90% επιπέδου σημαντικότητας.

2.3 Ανάλυση της Επίδρασης Κλιματικών Αλλαγών πάνω στο Δυναμικό των Υδατικών Πόρων

Οι Callaway, Cohen και Currie όρισαν το τρέχον δυναμικό των υδατικών πόρων σε 26 διαφορετικές μορφές από τις οποίες οι 9 είναι πολύ ευαίσθητες σε κλιματικές αλλαγές.

Οι μορφές αυτές είναι:

- Πλημμύρες
- Ξηρασίες
- Ανεπαρκής επιφανειακή παροχή και αποθήκευση νερού
- Εξαγωγή νερού από το έδαφος
- Διάβρωση και μεταφορά θερμών υλών από τα ποτάμια
- Προβλήματα αλμυρότητας
- Διαμάχες στη χρήση νερού
- Απώλειες νερού από τα συστήματα αποθήκευσης
- Υδατική βλάστηση.

Από τις πιο πάνω μορφές υδατικών πόρων μόνο προβλήματα που σχετίζονται με υδατικές ελλείψεις έχουν μελετηθεί για επίδραση κλιματικών αλλαγών, και συγκεκριμένα η μελέτη έχει περιοριστεί στον ταμιευτήρα αποθήκευσης.

Μελετήθηκαν τα χαρακτηριστικά λειτουργίας (αποθήκευση - εκροή - αξιοπιστία) ενός υποθετικού ταμιευτήρα και για στοχαστική αλλά και για ντετερμινιστική προσομοίωση των εισροών.

Η στοχαστική προσομοίωση έδωσε απογοητευτικά αποτελέσματα σχετικά με την αλλαγή διαδικασίας σχεδιασμού του συστήματος υδατικής παροχής.

Για την περίπτωση της ντετερμινιστικής προσομοίωσης διαπιστώθηκε ότι όσο αυξανόταν η ζήτηση τόσο έπεφτε η αξιοπιστία, η οποία κρατήθηκε σε ένα επιθυμητό επίπεδο (95%), αυξάνοντας την αποθηκευτικότητα του ταμιευτήρα για ζήτηση μη υπερβαίνουσα το 1/3 των εισροών. Για ζήτηση μεγαλύτερη από τα 2/3 των εισροών, η αξιοπιστία έπεσε χαμηλά, κάτω από 40%, και δεν υπήρχε καν θέμα κατασκευής ταμιευτήρα αποθήκευσης.

Τέλος, όσον αφορά τη στατιστική σημαντικότητα των αλλαγών αξιοπιστίας, αυτές βρέθηκαν, για το ξηρότερο κλιματικό σενάριο, πάνω στο όριο σημαντικότητας του 90% επιπέδου εμπιστοσύνης.

3. ΑΝΑΚΥΨΑΝΤΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΑΠ' ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΘΕΜΑΤΟΣ

3.1 Εξειδίκευση Κλιματικών Αλλαγών

Τα ντετερμινιστικά μοντέλα προσομοίωσης της λεκάνης απορροής είναι κατασκευασμένα με τρόπο που ν' αναπαριστούν, σε διάφορα επίπεδα πολυπλοκότητας, τις φυσικές διαδικασίες του υδρολογικού συστήματος. Τα πιο πολλά απ' αυτά, όπως και το μοντέλο του Sacramento, "δουλεύουν" σε πολύ μικρά χρονικά βήματα και συνήθως απαιτούν ωριαία ή ημερήσια μετεωρολογική πληροφορία, μ' αποτέλεσμα τα μοντέλα αυτά να κυβερνώνται από τον καιρό και όχι από το κλίμα. Αφού η ικανότητα πρόγνωσης ωριαίων και ημερήσιων καιρικών συνθηκών για τα επόμενα 50 ή 100 χρόνια δεν έχει ακόμα αναπτυχθεί, πώς μπορούμε να χρησιμοποιούμε τα μοντέλα αυτά για να προβλέψουμε αποτελέσματα κλιματικών αλλαγών;

Η ομοιόμορφη κατανομή της κλιματικής αλλαγής πάνω στις ιστορικές σειρές των κλιματικών παραμέτρων χαρακτηρίστηκε εξωπραγματική, η εξειδίκευσή της όμως με πιο ρεαλιστικό τρόπο δε λύνει απαραίτητα το πρόβλημα: αν τα μοντέλα που κυβερνώνται από ωριαίες ή ημερήσιες καιρικές συνθήκες μπορούν να δώσουν χρήσιμες πληροφορίες γύρω από την υδρολογική επίδραση των κλιματικών αλλαγών;

Κατά τη γνώμη μου, αυτό που πρέπει να εξεταστεί δεν είναι τόσο η ρεαλιστικότητα των κλιματικών αλλαγών όσο η ευρωστία του υδρολογικού συστήματος σε καιρικές αλλαγές, για δεδομένο τύπο κλιματικής αλλαγής. Αν αποδειχθεί ότι μικρές αλλαγές στον καιρό επηρεάζουν περισσότερο το υδρολογικό σύστημα, τότε αυτό θ' αποτελέσει ένα σπουδαίο εύρημα. Αν πάλι, το υδρολογικό σύστημα είναι πιο εύρωστο σε καιρικές αλλαγές παρά σε κλιματικές, τότε η υδρολογική επίδραση μπορεί να εκτιμηθεί με την τρέχουσα κλιματική πληροφορία.

3.2 Υδατικό Ισοζύγιο Λεκάνης

Ο υπολογισμός της επίδρασης κλιματικής αλλαγής πάνω στο υδρολογικό καθεστώς και το δυναμικό των υδατικών πόρων υπογραμμίζει την αναγκαιότητα για ακριβέστερη εκτίμηση του υδατικού ισοζυγίου λεκάνης, ιδιαίτερα όταν επικρατούν ξηρές κλιματικές συνθήκες. Σε ξηρές λεκάνες η απορροή έχει χαμηλές τιμές, καθώς αυτές προκύπτουν από τη διαφορά χαμηλών τιμών κατακρήμνισης και ψηλών εξατμισοδιαπνοής. Κατά συνέπεια, για να εκτιμηθούν σωστά οι αλλαγές απορροής, απαιτείται η ακριβής εκτίμηση της επιφανειακής κατακρήμνισης και επιφανειακής εξατμισοδιαπνοής της λεκάνης.

Η σημαντικότητα της κατακρήμνισης έχει φανεί καθαρά στην παρούσα μελέτη, αυτή όμως της εξατμισοδιαπνοής έχει καλυφθεί από το γεγονός των χαμηλών τιμών αλλαγής απορροής στις αλλαγές δυναμικής εξατμισοδιαπνοής. Μπορεί βέβαια αυτό να μη οφείλεται μόνο στην εξατμισοδιαπνοή, αλλά και σε άλλους λόγους, όπως μπορεί να είναι η δομή και η μη αξιόπιστη λειτουργία του υδρολογικού συστήματος. Πάντως, τα δυναμικά λάθη στην εκτίμηση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής, και αν ακόμα είναι μικρά, μπορούν να δώσουν το έναυσμα για πολύ μεγάλα λάθη στην εκτίμηση των αλλαγών απορροής.

3.3 Δομή Υδρολογικών Μοντέλων

Τα εμπειρικά ή παλινδρομικά υδρολογικά μοντέλα από τη φύση τους δεν αντανακλούν τα φυσικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής. Ατυχώς όμως, το ίδιο μπορεί να ειπωθεί μερικώς και για τα τρέχοντα ντετερμινιστικά συνολικά (Conceptual) μοντέλα της λεκάνης, καθώς η παρούσα ανάλυση έδειξε ότι οι βελτιστοποιημένες παράμετροι αυτών είναι κατά βάθος συντελεστές γραμμικής συσχέτισης με περιορισμένη φυσική σημασία.

Έτσι, η μοντελοποίηση της κλιματικής επίδρασης υπογραμμίζει την αναγκαιότητα ν' αναπτυχθούν υδρολογικά μοντέλα με πιο υγιή φυσική βάση και να ελεγχθεί η επάρκεια των συνιστωσών κατασκευής τους χωριστά, και όχι συνολικά, όπως γίνεται στην τυποποιημένη υδρολογική μοντελοποίηση.

Η πρώτη προσπάθεια αντιμετώπισης των συνιστωσών των συνολικών μοντέλων ξεχωριστά έγινε από τον WMO στη μελέτη: "Intercomparison of conceptual models of snowmelt runoff" (1982). Μια δεύτερη προσπάθεια επίλυσης του ίδιου προβλήματος έγινε από τους Shafer και Skaggs (1983) στη μελέτη: "Identification and characterization of watershed models for evaluating of impacts of climate change on hydrology".

3.4 Γενίκευση της Ισχύος των Υδρολογικών Μοντέλων

Το σημαντικότερο πρόβλημα που ανάκυψε από αυτή τη μελέτη είναι η αμφισβητούμενη ικανότητα του μοντέλου του Sacramento, όπως και κάθε άλλου

μοντέλου με παρόμοια δομή, να προσομοιώνει επιτυχώς τη ροή ποταμού κάτω από κλιματικές συνθήκες διαφορετικές από εκείνες για τις οποίες το μοντέλο έχει ρυθμιστεί.

Ο έλεγχος αξιοπιστίας των υδρολογικών μοντέλων προσομοίωσης συνήθως περιορίζεται στην κατάλληλη προσαρμογή των εξόδων του μοντέλου στις ιστορικές καταγραφές για την περίοδο της ρύθμισης, πάντοτε όμως κάτω από όμοιες συνθήκες χρήσης και ρύθμισης του μοντέλου. Κατά συνέπεια, αυτός ο έλεγχος δεν είναι ορθολογιστικός όταν το μοντέλο στοχεύει να προσομοιώνει ροές για συνθήκες διαφορετικές από εκείνες για τις οποίες αυτό έχει ρυθμιστεί.

Έτσι τοποθετείται το πρόβλημα της μεταφοράς των μοντέλων, που ξεκινά από την ικανότητα της γεωγραφικής (χωρικής) μεταφοράς τους μέσα σε ομοιογενείς και ανομοιογενείς περιοχές, και φθάνει μέχρι την ικανότητα της κλιματικής μεταφοράς τους (χρονικής), πρόβλημα άμεσα συνδεδεμένο με τον υπολογισμό της επίδρασης κλιματικής αλλαγής πάνω στο υδρολογικό καθεστώς και δυναμικό των υδατικών πόρων.

4. ΠΡΟΤΑΣΗ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ ΟΛΟΚΛΗΡΩΤΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Με βάση τις τρεις διαφορετικές τεχνικές (Κεφ. 2.1.α,β,γ) αντιμετώπισης του προβλήματος της επίδρασης κλιματικών αλλαγών πάνω στο υδρολογικό καθεστώς και δυναμικό των υδατικών πόρων, και τα προβλήματα που χαρακτηρίστηκαν στο Κεφ. 3, εγείρονται τα ερωτήματα:

- (i) ποιά είναι η καταλληλότερη τεχνική για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα;
- (ii) σε πόσες διαφορετικές λεκάνες ποταμών η μέθοδος ή οι μέθοδοι που εκλέχθηκαν θα εφαρμοστούν;
- (iii) ποιο επιχειρησιακό σχήμα ελέγχου υδρολογικών μοντέλων προσομοίωσης θα εφαρμοστεί για να εξεταστεί η γενική ισχύς των αποτελεσμάτων τους;

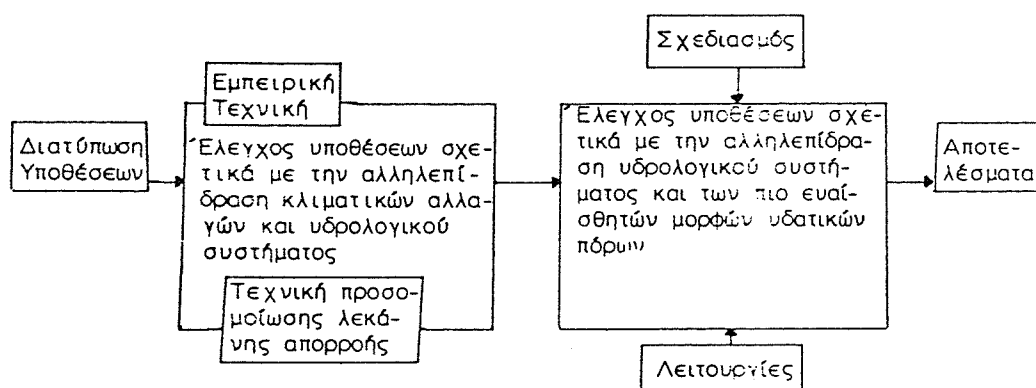
4.1 Εκλογή Μεθόδου

Ο Πίν. 4.1 περιγράφει συνοπτικά τη λειτουργικότητα των τριών τεχνικών σχετικά με την εκτίμηση της επίδρασης των κλιματικών αλλαγών πάνω στο υδρολογικό καθεστώς και δυναμικό των υδατικών πόρων.

Επειδή, από τη μια πλευρά η υποθετική τεχνική δεν μπορεί από μόνη της να ελέγξει τη λειτουργικότητα και τα αποτελέσματα των υποθέσεων που θέτει, και από την άλλη, καμιά από τις δύο άλλες τεχνικές δεν έχει αποδειχθεί επικρατέστερη της άλλης, υιοθετείται μια συγκριτική τεχνική αντιμετώπισης του προβλήματος, η οποία παρουσιάζεται στο διάγραμμα ροής 4.1.

Πίν. 4.1. Συνοπτική αντιπαράθεση των μεθόδων εκτίμησης της επίδρασης κλιματικών αλλαγών πάνω στις μεμονωμένες μορφές υδατικών πόρων με χρήση δύο επιπέδων ανάλυσης

Μέθοδος	Α': Επίπεδο ανάλυσης	Β': Επίπεδο ανάλυσης
	Κλιματική Αλλαγή ↓ Υδρολογικό Σύστημα	Υδρολογικό Σύστημα ↓ Υδατικοί Πόροι
Υποθετική	Αναπτύσσει λειτουργικές υποθέσεις	Αναπτύσσει λειτουργικές υποθέσεις
Εμπειρική	Αναπτύσσει και δοκιμάζει υποθέσεις χρησιμοποιώντας εμπειρικά μοντέλα σε συνδυασμό με κλιματικά ακραία γεγονότα παρμένα από ιστορικές καταγραφές	Αναπτύσσει υποθέσεις αντλώντας πληροφορίες από δημοσιευμένες έρευνες γύρω από τις μορφές υδατικών πόρων. Ελέγχει υποθέσεις χρησιμοποιώντας εμπειρικά μοντέλα σε συνδυασμό με υπάρχουσες πληροφορίες ανταπόκρισης υδατικής διαχείρισης σε κλιματικές αλλαγές
Προσομοίωση του συστήματος λειτουργιών λεκάνης απορροής	Αναπτύσσει και δοκιμάζει υποθέσεις χρησιμοποιώντας μοντέλα λεκάνης απορροής σε συσχέτισμό με ιστορικά δεδομένα (ρύθμιση) και κλιματικές προβλέψεις (προσομοίωση)	Τα μοντέλα προσομοίωσης λεκάνης απορροής δίνουν περιορισμένες πληροφορίες γύρω από τα προβλήματα διαχείρισης υδατικών πόρων και πρέπει να χρησιμοποιούνται σε συσχέτισμό, με άλλα μοντέλα και αναλυτικά εργαλεία



Σχήμα 4.1. Διάγραμμα ροής ανάλυσης της μελέτης σε τέσσερα επίπεδα

4.2 Εκλογή Λεκάνης Απορροής

Η καλύτερη απόδοση της συγκριτικής τεχνικής πετυχαίνεται με τη μελέτη μιας ποικιλίας από μορφές υδατικών πόρων πάνω σε μια και μοναδική λεκάνη.

Τα βασικά κριτήρια επιλογής της λεκάνης είναι:

- (ι) παρατεταμένες ετήσιες και εποχιακές κλιματικές διακυμάνσεις
- (ii) σημαντικός αριθμός από ευαίσθητες μορφές υδατικών πόρων που έχουν χαρακτηριστεί για τη σοβαρότητα των προβλημάτων τους
- (iii) διαδικασία τήξης χιονιού σε βασική συνιστώσα του υδρολογικού συστήματος
- (iv) σημαντική φυσική και κλιματική μεταβλητότητα της λεκάνης
- (v) διαθεσιμότητα εκτενών δεδομένων υψηλής ποιότητας σχετικά με το κλίμα, το υδρολογικό σύστημα και τη λειτουργία του, καθώς και με τη ζήτηση του νερού.

4.3 Επιχειρησιακός Έλεγχος Υδρολογικών Μοντέλων Προσομοίωσης

Ακολουθείται η πρόταση του Kiemes (WMO, May 1985) γύρω από μια ιεραρχική διάταξη συστηματικού ελέγχου των υδρολογικών μοντέλων προσομοίωσης.

Αυτή περιλαμβάνει:

- (1α) Τεστ Διχασμένου δείγματος (Split-Sample test)
- (1β) Τεστ Αντιπροσωπευτικής λεκάνης (Proxy-Basin test)
- (2α) Τεστ Διαφοροποιημένου και Διχασμένου δείγματος (Differential Split-Sample test)
- (2β) Τεστ Διαφοροποιημένου και Διχασμένου δείγματος για Αντιπροσωπευτική λεκάνη (Proxy Basin Differential Split-Sample test).

Το : (1) δηλώνει μόνιμες συνθήκες
(2) δηλώνει μη μόνιμες συνθήκες

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Aitchison, J. and Dunsmore, I.R., Statistical Prediction Analysis, Cambridge University Press, London, 1975
2. Bazelon, D.L., Risk and Responsibility, Science, Vol. 205, 1979, 277-280
3. Beard, L.R. and Maristany, A., Hydrologic Effects of Climate Change, Report by the Center for Research in Water Resources Univ. of Texas at Austin (for US Corps. Eng.), 1979
4. Budyko, M.I., Climatic Change, Gidrometeoizdat, Leningrad, 1976
5. Clarke, A.J., Environmental Effects of Utilising More Coal, Ed. F.A. Robinson (Royal Society of Chemistry), London, 1981

6. Klemes, V., Effect of Hypothetical Climate Change on Reliability of Water Supply from Reservoirs, A study report by the National Hydrology Research Institute, Ottawa, Ontario, 1982
7. Klemes, V., Climatic Change and the Planning of Water Resource Systems, Canadian Society for Civil Engineering, 6th Canadian Hydrotechnical Conference, Ottawa, Ontario, 1983, 485-500
8. Klemes, V., and Nemec, J., Assessing the Impact of Climate Change on the Development of Surface Water Resources, II International Meeting on Statistical Climatology, National Institute of Meteorology and Geophysics, Lisbon, 1983
9. Manabe, S., and Stouffer, R.J., Sensitivity of a Global Climate Model to an Increase of CO_2 Concentration in the Atmosphere, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 85, 1980, 5529-5554
10. Nemec, J., and Kite, G.W., Mathematical Model of the Upper Nile Basin, In *Logistics and Benefits of Using Mathematical Models of Hydrologic and Water Resource Systems*, IIASA - Pergamon Press, Oxford, 1981, 167-178
11. Nemec, J., and Schaake, J., Sensitivity of Water Resource Systems to Climate Variations, *Hydrological Sciences Journal*, Vol. 27 (3), 1982, 327-343
12. Παναγούλια, Δ., Ανάλυση Ευαισθησίας Σχεδιασμού Υδατικών Συστημάτων Έργων σε Κλιματικές Αλλαγές, εσωτερικό report ΕΜΠ, Απρίλης 1986
13. Schwarz, H.E., Climatic Change and Water Supply, How Sensitive is the Northeast? In *Climate, Climatic Change and Water Supply*, National Research Council, National Academy of Sciences, Washington D.C., 1977, 111-120
14. WMO, Project for the Intercomparison of Conceptual Models of Snowmelt Runoff, *Proceedings of International Symposium on Hydrological Aspects of Alpine and High-Mountain Arians*, IAHS, No 138, 1982.